

**• ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ, МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ
ТА ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПІДГОТОВКИ КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ****• THEORETICAL AND METHODOLOGICAL, MEDICAL, BIOLOGICAL
AND PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF QUALIFIED SPORTSMEN PREPARATION**

УДК 577.29:796.91:612

**КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ
ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ *BDKRB2* И *NOS3*
У БЕЛОРУССКИХ КОНЬКОБЕЖЦЕВ****Анна ИЛЬЮТИК^{1,2}, Ирина РУБЧЕНЯ¹,
Ирина ГИЛЕП¹, Василий СИНЕЛЕВ³**¹ Белорусский государственный университет
физической культуры² НИИ физической культуры и спорта
Республики Беларусь³ Институт биоорганической химии НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ПОЛІМОРФІЗМУ ГЕНІВ *BDKRB2* І *NOS3* У БІЛОРУСЬКИХ КОВЗАНЯРІВ. Ганна ІЛЬЮТИК^{1,2}, Ірина РУБЧЕНЯ¹, Ірина ГІЛЕП¹, Василь СІНЕЛЕВ³. ¹ Білоруський державний університет фізичної культури, ² НДІ фізичної культури і спорту Республіки Білорусь, ³ Інститут біоорганічної хімії НАН Білорусі, Мінськ, Білорусь

Анотація. У Республіці Білорусь створено оптимальні умови для розвитку ковзанярського спорту і ведеться пошук засобів підвищення ефективності підготовки ковзанярів. Актуальним є дослідження, спрямована на вивчення генетичної схильності ковзанярів до розвитку фізичних якостей. Мета: вивчення розподілу комбінацій поліморфних варіантів генів *BDKRB2* і *NOS3* у білоруських ковзанярів залежно від кваліфікації та спеціалізації й асоціації вказаних комбінацій генотипів з показниками фізичної працездатності ковзанярів. Методи дослідження: генетичний аналіз, медико-біологічні методи, велоергометричне тестування, методи математичної статистики. У дослідженні взяли участь ковзанярі віком від 13 до 33 років різної кваліфікації (від юнацьких розрядів до МСМК) і 136 чоловік контрольної групи, які не займаються професійним спортом. Гени *BDKRB2* і *NOS3* асоційовані з фізичною працездатністю людини, оскільки їх продукти регулюють діяльність серцево-судинної системи при фізичних навантаженнях. У статті наведено результати комплексного аналізу поліморфізмів генів *BDKRB2* і *NOS3* у білоруських ковзанярів. Вивчений розподіл комбінацій +9/-9-поліморфізму гена *BDKRB2* і a/b-поліморфізму гена *NOS3* у ковзанярів залежно від спортивної кваліфікації та спеціалізації, а також виявлено асоціації цих комбінацій генотипів з показниками фізичної працездатності ковзанярів. Визначено найсприятливіші комбінації досліджуваних генотипів для ковзанярів різних спеціалізацій: -9/-9-bb та -9/-9-ab для ковзанярів, які спеціалізуються на дистанціях 5000 і 10000 метрів, а також комбінації +9/+9-bb та +9/-9-bb для спринтерів (500–1000 метрів) і багатоборців.

Ключові слова: поліморфізм генів, ковзанярі, фізична працездатність, механізми енергозабезпечення.

Постановка проблемы. Современные методы ДНК-диагностики используются в спортивной физиологии для изучения роли врождённых индивидуально-генотипических особенностей организма в развитии физических качеств и адаптации к физическим нагрузкам. Известно, что адаптация организма спортсмена к напряжённым тренировочным и соревновательным нагрузкам заключается в мобилизации и использовании функциональных резервов, в совершенствовании физиологических механизмов регуляции. Это состояние обеспечивается высокой координацией и соподчинением генетически детерминированных физиологических систем, в том числе и сердечно-сосудистой. Сердечно-сосудистая система является эффекторным звеном функциональной системы высшего порядка. Известно, что белки, кодируемые геном ангиотензин-конвертирующего фермента (*ACE*), ангиотензиногеном (*AGT*), ге-

ном $\beta 2$ -рецептора брадикинина (*BDKRB2*), геном эндотелиальной NO-синтазы (*NOS3*) и др. участвуют в формировании регуляторных структур, отвечающих за работу сердечно-сосудистой системы при выполнении физических нагрузок [1–4]. В зависимости от генетического полиморфизма наблюдается различная экспрессия гена, варьирует количество продукта гена, что вызывает изменения активности и направленности в работе сердечно-сосудистой системы. Так как наследственные влияния на функционирование физиологических систем носят полигенный характер, то при изучении генотипических данных спортсменов необходимо учитывать влияние комбинаций однородных по эффекту генотипов [1].

Ген *BDKRB2* (локализация: 14q32) кодирует $\beta 2$ -рецептор брадикинина – полипептида из группы кининов. Брадикинин снижает сосудистый тонус (стимулирует образование эндотелиальными клетками монооксида азота (NO), что приводит к вазодилатации, снижению АД и улучшению кровоснабжения мышечной ткани) [5]. В первом экзоне гена *BDKRB2* обнаружен инсерционно-делеционный полиморфизм (вставка или выпадение 9 нуклеотидов; +9/-9), который является функциональным. С отсутствием вставки (-9) связывают высокую экспрессию гена, а значит более выраженный сосудорасширяющий эффект [2, 6]. Соответственно, выделяют три полиморфных варианта гена *BDKRB2*: гомозиготные -9/-9 и +9/+9, а также гетерозиготный +9/-9.

Ген эндотелиальной NO-синтазы (*NOS3*) кодирует фермент NO-синтазу, которая катализирует синтез молекул монооксида азота (NO) в эндотелии сосудов [7]. Монооксид азота – один из наиболее важных биологических медиаторов, вовлечённых во множество физиологических процессов. В сосудистой системе NO играет важную роль, вызывая вазодилатацию, регулируя кровоток и системное артериальное давление и обеспечивая тромборезистентность и артериопротективную функцию эндотелия. NO также принимает участие в ряде патологических процессов: в развитии гипертонии, атеросклероза, гипертрофии левого желудочка и др. [2, 7–8]. Пониженная активность NO-синтазы ведёт к недостаточному кровоснабжению скелетной мускулатуры при физических нагрузках.

Один из полиморфизмов гена *NOS3* (локализация: 7q36) является полиморфизм переменного числа tandemных повторов в 4-м интроне: *b/a* полиморфизм, аллель *b* – 5 повторяющихся фрагментов 27 п.н., аллель *a* – только 4 повторяющихся фрагмента 27 п.н. [2]. Соответственно, выделяют три полиморфных варианта гена *NOS3*: *bb* – гомозиготный по нормальному гену, *ab* – гетерозиготный и *aa* – гомозиготный по мутантному гену.

Таким образом, продукты генов *BDKRB2* и *NOS3* – брадикинин и монооксид азота участвуют в гуморальной регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы. При этом актуальными являются исследования, направленные на прояснение роли *BDKRB2* +9/-9 и *NOS3* *a/b* полиморфизмов в деятельности кардио-респираторной системы при занятиях спортом.

Цель исследования заключалась в изучении распределения комбинаций полиморфных вариантов генов *BDKRB2* и *NOS3* у белорусских конькобежцев в зависимости от квалификации и специализации и в ассоциации данных комбинаций генотипов с показателями физической работоспособности конькобежцев.

Материалы и методы исследования. В исследовании были использованы образцы геномной ДНК спортсменов национальной команды Республики Беларусь и спортивного резерва, специализирующихся в скоростном беге на коньках. В тестировании принимали участие спортсмены-мужчины и женщины в возрасте от 13 до 33 лет: МСМК 5 человек, МС – 31, КМС – 35, I–III разряд – 33, I–III юношеский разряд – 30. Контрольную группу составили 136 человек, не занимающиеся профессиональным спортом. Определение полиморфизмов генов осуществлялось методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в лаборатории молекулярной диагностики ИБОХ НАН Беларуси.

Для исследования динамики биоэнергетических возможностей спортсменов изучали показатели физической работоспособности и частоты сердечных сокращений (ЧСС) в различных зонах энергообеспечения. В качестве тестирующей нагрузки применяли субмаксимальный велоэргометрический тест со ступенчато-возрастающей нагрузкой. Был обобщён материал, полученный в результате тестирования конькобежцев высокой квалификации при

углубленных комплексных и этапных обследований в лаборатории биохимии спорта НИИ ФКиС РБ. Проанализированы данные велоэргометрического тестирования 29 конькобежцев, всего 120 человекообследований.

Значимость различий в частоте аллелей, генотипов и комбинаций генотипов между сравниваемыми выборками определяли с помощью критерия χ^2 с учетом поправки Йетса (для малых групп) и с использованием точного критерия Фишера (ф). Проводили проверку нормальности распределения количественных признаков с использованием критерия Шапиро–Уилка. Полученные данные (основной массив) не подчинялись закону нормального распределения и поэтому анализировались методами непараметрической статистики. Для определения взаимосвязи между генотипами и количественными показателями использовали U-критерий Манна–Уитни (при сравнении двух независимых выборок) и H-критерий Краскела–Уоллиса (при сравнении трёх и более групп признаков). Количественные данные представлены в виде медианы значений (Me) и интерквартильного размаха с описанием значений 25 и 75 перцентилей: Me (25%; 75%). Критическое значение уровня значимости принимали равным 0,05. Анализ данных производили с помощью программ «STATISTICA for WINDOWS 6.0» и «IBM SPSS Statistics 20».

Связь работы с научными программами. Работа выполнялась в рамках Государственной программы развития физической культуры и спорта в Республике Беларусь на 2011–2015 гг., проект «Разработать и внедрить научно-методическую программу по специализации и индивидуализации тренировочного процесса конькобежцев с использованием молекулярной диагностики» № ГР 20121035.

Результаты и их обсуждение. На основании анализа результатов ПЦР были определены полиморфные варианты исследуемых генов у конькобежцев и в контрольной группе. Для изучения взаимосвязи полиморфизма генов *BDKRB2* и *NOS3* с физической работоспособностью была рассчитана частота комбинаций генотипов данных генов в группах конькобежцев различной квалификации и специализации. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Распределение комбинаций генотипов генов *BDKRB2* и *NOS3* в контрольной группе и в группах конькобежцев различной квалификации и специализации в %

Генотипы	Контрольная группа	Конькобежцы (все)	Группы конькобежцев различной квалификации				Группы высококвалифицированных конькобежцев различной специализации		
			МС и МСМК	КМС	I–III разряды	юношеские разряды	спринтеры	многоборцы	стайеры
	n=136	n=134	n=36	n=35	n=33	n=30	n=24	n=29	n=18
+9/+9-aa	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+9/+9-ab	11,0	14,2	5,5	5,7	21,2	26,7	4,2	10,3	0,0
+9/+9-bb	21,3	21,6	8,3	31,4	21,2	26,7	29,2	20,7	5,6
+9/-9-aa	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+9/-9-ab	13,2	10,4	16,7	5,7	12,1	6,6	8,3	17,3	5,6
+9/-9-bb	31,6	29,1	27,8	31,4	27,3	30	25,0	37,9	22,2
-9/-9-aa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-9/-9-ab	3,7	7,5	11,1	2,9	6,1	10,0	8,3	3,4	11,1
-9/-9-bb	14,7	17,2	30,6	22,9	12,1	0,0	25,0	10,3	55,5

Примечание. Жирным шрифтом выделена линейная корреляционная зависимость частоты встречаемости комбинаций генотипов от уровня квалификации или специализации конькобежцев ($p < 0,05$).

У конькобежцев не встречались носители *NOS3 aa* генотипа, при этом в контрольной группе такие генотипы отмечены: 1 человек имеет комбинацию генотипов +9/+9-*aa* (0,7%), 5 человек – комбинацию +9/-9-*aa* (3,7%), что значимо выше по сравнению с общей выборкой конькобежцев ($\varphi_{\text{эмп}}=3,17$, $p<0,01$) (таблица 1).

Значимость различий в распределении комбинаций генотипов между выборками оценивалась по критерию χ^2 , вычисленные значения которого приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Значение критерия χ^2 и достигнутый уровень значимости (P)
при сравнении распределения комбинаций генотипов в исследуемых выборках**

Сравниваемые группы		χ^2	p
Контроль	все конькобежцы	9,03	0,34
Контроль	конькобежцы МС и МСМК	12,38	0,13
Конькобежцы МС и МСМК	конькобежцы I–III и юношеских разрядов	17,55*	0,025
Конькобежцы МС и МСМК	конькобежцы юношеских разрядов	18,68*	0,017
Контроль	конькобежцы юношеских разрядов	13,33	0,10
Высококвалифицированные конькобежцы-стайеры	контроль	21,58*	0,006
Высококвалифицированные конькобежцы-стайеры	все конькобежцы	16,32*	0,038
Высококвалифицированные конькобежцы-стайеры	высококвалифицированные конькобежцы-многоборцы	14,85	0,062
Высококвалифицированные конькобежцы-стайеры	конькобежцы I–III и юношеских разрядов	26,89*	0,0007
Высококвалифицированные конькобежцы-стайеры	конькобежцы юношеских разрядов	24,43*	0,002

Примечание. * – статистически значимые различия между группами (по критерию χ^2 , $p<0,05$).

Распределение комбинаций генотипов *BDKRB2* и *NOS3* в группе конькобежцев, имеющих разряды не ниже мастера спорта, отличалось от распределения данных комбинаций генотипов в группе конькобежцев-разрядников (I–III взрослые и юношеские разряды) ($p=0,025$) и в группе спортсменов с юношескими разрядами ($p=0,017$) (таблица 2). Следовательно, достижение высоких спортивных результатов в конькобежном спорте предполагает наличие определённых комбинаций генотипов *BDKRB2* и *NOS3*: вероятно, это комбинации -9/-9-*bb* и +9/-9-*bb*, отмеченные у МС и МСМК с наибольшей частотой.

Распределение комбинаций генотипов *BDKRB2* и *NOS3* в контрольной группе и в группе высококвалифицированных конькобежцев-стайеров отличалось ($p=0,006$). Также отличалось распределение данных комбинаций генотипов между группой высококвалифицированных конькобежцев-стайеров и всей выборкой конькобежцев ($p=0,038$), а также группой разрядников ($P=0,0007$) (таблица 2).

Таким образом, можно предположить, что успешность выступлений на длинных конькобежных дистанциях ассоциирована с наличием наиболее благоприятной для стайеров комбинации генотипов *BDKRB2* и *NOS3* – -9/-9-*bb*, которая отмечена в группе высококвалифицированных стайеров в 55,5% случаев. Эта величина выше по сравнению с долей генотипов -9/-9-*bb* в контрольной группе – 14,7% ($\varphi_{\text{эмп}}=3,57$, $p<0,01$), в общей выборке конькобежцев – 17,2% ($\varphi_{\text{эмп}}=3,30$, $p<0,01$), в группе спортсменов I–III разрядов – 12,1% ($\varphi_{\text{эмп}}=3,31$, $p<0,01$), в группе конькобежцев юношеских разрядов – 0,0% ($\varphi_{\text{эмп}}=5,64$, $p<0,01$), в группе высококвалифицированных спринтеров – 25,0% ($\varphi_{\text{эмп}}=2,04$, $p<0,05$) и в группе высококвалифицированных многоборцев – 10,3% ($\varphi_{\text{эмп}}=3,42$, $p<0,01$).

С использованием точного критерия Фишера (φ) были определены ещё некоторые статистически значимые различия между исследуемыми группами:

1) частота генотипов +9/+9-*ab* ниже у МС (5,5%) по сравнению с группами I–III разрядов (21,2%) ($\varphi_{\text{эмп}}=2,0$, $p<0,05$) и юношеских разрядов (26,7%) ($\varphi_{\text{эмп}}=2,46$, $p<0,01$), а также ни-

же у КМС (5,7%) по сравнению с группами I–III разрядов ($\varphi_{\text{эмп}}=1,96$, $p<0,05$) и юношеских разрядов ($\varphi_{\text{эмп}}=2,42$, $p<0,05$);

2) частота генотипов $+9/+9-bb$ ниже у МС (8,3%) по сравнению с контрольной группой (21,3%) ($\varphi_{\text{эмп}}=2,05$, $p<0,05$), с общей группой конькобежцев (21,6%) ($\varphi_{\text{эмп}}=2,03$, $p<0,05$), группой КМС (31,4%) ($\varphi_{\text{эмп}}=2,55$, $p<0,01$), с группой спортсменов юношеских разрядов (26,7%) ($p<0,05$);

3) частота генотипов $-9/-9-bb$ достоверно выше у МС (30,6%) по сравнению с контрольной группой (14,7%), с общей группой конькобежцев (17,2%), с группой спортсменов I–III разрядов (12,1%) ($\varphi_{\text{эмп}}=2,02$, $p<0,05$);

4) частота $+9/+9-bb$ ниже у стайеров (5,6%) по сравнению с контрольной группой (21,3%) ($\varphi_{\text{эмп}}=2,6$, $p<0,01$), с общей группой конькобежцев (21,6%) ($\varphi_{\text{эмп}}=1,96$, $p<0,05$), с группой спринтеров (29,2%) ($\varphi_{\text{эмп}}=2,13$, $p<0,05$).

В таблицах 3–4 представлены данные тестирования физической работоспособности высококвалифицированных конькобежцев. Мужчины являлись носителями четырёх комбинаций генотипов генов *BDKRB2* и *NOS3* (таблица 3).

Таблица 3

**Показатели физической работоспособности конькобежцев-мужчин
с различными комбинациями генотипов генов *BDKRB2* и *NOS3*
при проведении велоэргометрического теста, Ме (25%; 75%)**

Показатели	Аллельные варианты генов <i>BDKRB2</i> и <i>NOS3</i>			
	1-ая группа	2-ая группа	3-ая группа	4-ая группа
	$+9/-9-ab$ (n=27)	$+9/+9-bb$ (n=4)	$+9/-9-bb$ (n=15)	$-9/-9-bb$ (n=11)
АП, кгм/мин	886 (606; 1090)	658 (380; 697)* ⁴	757 (646; 880)* ⁴	990 (862; 1087)* ^{2,3}
АнП**, кгм/мин	1317 (1093; 1509)	1127 (1020; 1186)* ⁴	1208 (1151; 1387)* ⁴	1441 (1339; 1628)* ^{2,3}
$A_{\text{смеш.}}$, кгм/мин	1589 (1265; 1926)	1343 (1227; 1413)	1571,5 (1426; 1774)	1615,5 (1422; 1822)
$A_{\text{макс.}}$, кгм/мин	1748 (1350; 1950)	1500 (1500; 1500)	1800 (1500; 2100)	1725 (1425; 2137)
ЧСС _{АП} , уд./мин	132 (117,0; 142,0)	113 (90,0; 115,0)* ⁴	123,5 (111,5; 137,5)	142 (124,0; 154,0)* ²
ЧСС _{АнП} , уд./мин	163,5 (151,7; 173,5)	156 (149,0; 159,0)	161 (154,0; 166,5)	170 (159,7; 174,5)
ЧСС _{смеш.} , уд./мин	179,5 (172,2; 182,7)	174 (168,0; 176,0)	178,5 (173,7; 188,2)	177,5 (168,2; 182,0)
ЧСС _{макс} **, уд./мин	181 (173,7; 185,2)* ³	183 (178,0; 183,5)	186 (178,5; 190,7)* ^{1,4}	178,5 (174,0; 181,2)* ³
Лактат _{макс} , ммоль/л	7,7 (4,7; 9,1)	8,6 (5,7; 8,8)	8,7 (6,4; 9,8)	8,4 (6,0; 10,1)

Примечания: * – различия значимы в сравнении между группами (по U-критерию Манна–Уитли);

** – различия значимы при сравнении между четырьмя группами (по H-критерию Краскела–Уоллиса), $p<0,05$.

Сравнительный анализ результатов тестирования показал, что спортсмены с комбинацией генотипов $+9/+9-bb$ характеризуются низкой работоспособностью во всех зонах энергообеспечения по сравнению с конькобежцами остальных групп (на уровне порога аэробного обмена (АП) и на уровне анаэробного порога (АнП) различия значимы по сравнению с четвертой группой ($-9/-9-bb$), $p<0,05$, таблица 3).

Наибольшие показатели физической работоспособности отмечены у спортсменов, имеющих комбинации генотипов $+9/-9-bb$ и $-9/-9-bb$. При этом обращает на себя внимание то, что ЧСС на пике концентрации лактата (ЧСС_{макс}) у конькобежцев с комбинацией $-9/-9-bb$ ни-

же, чем у других группах ($p < 0,05$) при высокой мощности выполненной нагрузки ($A_{\text{макс}}$). Таким образом, конькобежцы с генетической комбинацией *-9/-9-bb* характеризуются наиболее оптимальной адаптацией сердечно-сосудистой системы к физическим нагрузкам.

Таблица 4

**Показатели физической работоспособности женщин
в различных группах комбинаций генотипов генов *BDKRB2* и *NOS3*, Me (25%; 75%)**

Показатели	Аллельные варианты генов <i>BDKRB2</i> и <i>NOS3</i>			
	1-ая группа	2-ая группа	3-ая группа	4-ая группа
	+9/+9- <i>ab</i> (n=11)	-9/-9- <i>ab</i> (n=5)	+9/-9- <i>bb</i> (n=13)	-9/-9- <i>bb</i> (n=23)
АП, кгм/мин	601 (414; 638)	473 (157; 695)	637,5 (546; 756)	618 (559; 730)
АнП, кгм/мин	937 (886; 1117)	859,5 (676; 934)	1000 (867; 1095)	923 (784; 1078)
$A_{\text{смеш.}}$, кгм/мин	1235 (1125; 1401)*²	1041,5 (1014; 1093)*^{1,3}	1214,5 (1132; 1303)*²	1114 (897; 1297)
$A_{\text{макс.}}$ **, кгм/мин	1425 (1275; 1537)*^{2,4}	1050 (900; 1050)*^{1,3,4}	1275 (1125; 1350)*²	1200 (1050; 1200)*^{1,2}
$\text{ЧСС}_{\text{АП}}$ **, уд./мин	114 (101,0; 131,0)*⁴	120,5 (73,7; 159,0)	132,5 (107,2; 137,7)*⁴	143 (134,5; 156,0)*^{1,3}
$\text{ЧСС}_{\text{АнП}}$, уд./мин	162 (157,0; 167,0)	165 (155,5; 177,0)	169 (150,5; 171,7)	169 (163,5; 174,5)
$\text{ЧСС}_{\text{смеш.}}$, уд./мин	180 (177,5; 183,5)	186 (176,5; 192,5)	182,5 (170,2; 186,7)	183 (177,5; 186,5)
$\text{ЧСС}_{\text{макс.}}$, уд./мин	184 (180,0; 188,0)	178 (164,0; 186,5)*⁴	180 (174,0; 192,0)	187 (182,0; 190,0)*²
Лактат _{макс.} , ммоль/л	7,9 (6,2; 9,5)*²	5,5 (4,4; 6,2)*^{1,3,4}	8,4 (5,6; 10,3)*²	7,1 (6,6; 12,2)*²

Примечания: * – различия значимы в сравнении между группами (по U-критерию Манна–Уитли);

** – различия значимы при сравнении между четырьмя группами (по H-критерию Краскела–Уоллиса), $p < 0,05$.

Вероятно, наличие +9/+9 генотипа гена *BDKRB2* является лимитирующим фактором развития физической работоспособности конькобежцев-мужчин.

У женщин самые высокие значения $A_{\text{макс.}}$ отмечены у представительниц генотипической комбинации +9/+9-*ab*: 1425 (1322; 1477) кгм/мин, а самые низкие – у представительниц комбинации -9/-9-*ab*: 1050 (940; 1039) кгм/мин ($p < 0,05$, таблица 4). При этом у спортсменок первой группы (+9/+9-*ab*) зафиксированы наименьшие значения ЧСС во всех зонах энергообеспечения ($\text{ЧСС}_{\text{АП}}$, $\text{ЧСС}_{\text{АнП}}$, $\text{ЧСС}_{\text{Асмеш.}}$) при высокой мощности выполняемых нагрузок. Так как белорусские высококвалифицированные конькобежки специализируются в основном в беге на спринтерские дистанции, то, вероятно, именно обладательницы комбинации +9/+9-*ab* имеют преимущество в развитии специальной работоспособности, обусловленной совершенствованием анаэробного гликолитического механизма ресинтеза АТФ. В крови спортсменок третьей группы (+9/-9-*bb*) отмечена более высокая, чем у остальных спортсменок, концентрация лактата – 8,4 (7,0; 8,8) ммоль/л (таблица 4). При этом концентрация лактата в крови спортсменок второй группы (-9/-9-*ab*) значимо ниже, чем во всех других группах ($P < 0,05$, таблица 4). Таким образом, в конькобежном спорте, где важно развитие гликолитического ресинтеза АТФ, лучшей физической работоспособностью обладают спортсменки с полиморфными вариантами +9/+9-*ab* генов *BDKRB2* и *NOS3*.

Вывод. Согласно результатам комплексного анализа полиморфизма данных генов у конькобежцев с ростом спортивного мастерства увеличивается доля комбинации генотипов -9/-9-*bb* ($P < 0,01$), а также уменьшается доля комбинаций +9/+9-*ab* и +9/+9-*bb* ($P < 0,05$). У высококвалифицированных конькобежцев-стайеров отмечена более высокая частота генотипов -9/

-9-bb и -9/-9-ab, а также более низкая частота комбинаций +9/+9-ab, +9/+9-bb, +9/-9-ab и +9/-9-bb по сравнению с группами спринтеров и многоборцев. Таким образом, наиболее благоприятными комбинациями генотипов *BDKRB2* и *NOS3* для конькобежцев, специализирующихся на дистанциях 5000 и 10000 метров, являются -9/-9-bb и -9/-9-ab, для спринтеров (500–1000 метров) и многоборцев – комбинации +9/+9-bb и +9/-9-bb.

Отсутствие +9/+9-aa, +9/-9-aa и -9/-9-aa генотипов в выборке конькобежцев и низкая частота генотипов +9/+9-ab у высококвалифицированных спортсменов указывает на то, что данные комбинации нежелательны для конькобежцев, так как могут быть ассоциированы с низкой физической работоспособностью и риском развития заболеваний сердечно-сосудистой системы при напряжённых тренировочных и соревновательных нагрузках.

У конькобежцев-мужчин наибольшие показатели физической работоспособности отмечены у носителей комбинаций -9/-9-ab и -9/-9-bb генов *BDKRB2* и *NOS3*, конькобежцы с генетической комбинацией -9/-9-bb характеризуются наиболее оптимальной адаптацией сердечно-сосудистой системы к физическим нагрузкам.

У конькобежцев-женщин наибольшие показатели физической работоспособности отмечены у представительниц комбинации +9/+9-ab.

Список литературы

1. Рогозкин В. А. Генетическая предрасположенность человека к выполнению физических нагрузок / В. А. Рогозкин // Генетические, психофизические и педагогические технологии подготовки спортсменов : сб. науч. тр. – СПб. : СПбНИИФК, 2006. – С. 21-33.
2. Ахметов И. И. Молекулярная генетика спорта / И. И. Ахметов. – М. : Советский спорт, 2009. – 268 с.
3. Синелев В. А. Полиморфизм генов *BDKRB2*, *NOS3*, *AGT*, *ACE* и *AGTR1* и физическая работоспособность человека / В. А. Синелев [и др.] // Доклады Национальной Академии наук. – Мн. : Беларуская навука, 2010. – Т. 54, №3. – С. 77–83.
4. Bouchard C. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: The 2006–2007 Update. / C. Bouchard [et al.] // Med. Sci. Sports and Exercise. – 2009. – Vol. 41. – P. 35–73.
5. Brull D. Bradykinin B2BKR receptor polymorphism and left-ventricular growth response / D. Brull [et al.] // Lancet. – 2001. – Vol. 358. – P. 1155–1156.
6. Williams A. G. Bradykinin receptor gene variant and human physical performance / A. G. Williams [et al.] // J. Appl. Physiol. – 2004. – Vol. 96. – P. 938–942.
7. Nathan C. Nitric oxide synthetases: roles, tolls and controls / C. Nathan, Q. Xie // Cell. – 1994. – Vol. 79. – P. 915-918.
8. Wang Y. Nitric oxide synthases: biochemical and molecular regulation / Y. Wang [et al.] // Curr Opin Nephrol Hypertens. – 1995. – Vol. 4. – P. 12–22.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ *BDKRB2* И *NOS3* У БЕЛОРУССКИХ КОНЬКОБЕЖЦЕВ

Анна ИЛЬЮТИК^{1,2}, Ирина РУБЧЕНЯ¹,
Ирина ГИЛЕП¹, Василий СИНЕЛЕВ³

¹ Белорусский государственный университет
физической культуры

² НИИ физической культуры и спорта
Республики Беларусь

³ Институт биоорганической химии НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

Аннотация. В Республике Беларусь созданы оптимальные условия для развития конькобежного спорта и ведётся поиск средств повышения эффективности подготовки конько-

бежцев. Актуальным является исследование, направленное на изучение генетической предрасположенности конькобежцев к развитию физических качеств. Цель: изучение распределения комбинаций полиморфных вариантов генов *BDKRB2* и *NOS3* у белорусских конькобежцев в зависимости от квалификации, специализации и ассоциации данных комбинаций генотипов с показателями физической работоспособности конькобежцев. Методы исследования: генетический анализ, медико-биологические методы, велоэргометрическое тестирование, методы математической статистики. В исследовании принимали участие конькобежцы в возрасте от 13 до 33 лет различной квалификации (от юношеских разрядов до МСМК) и 136 человек контрольной группы, не занимающиеся профессиональным спортом. Гены *BDKRB2* и *NOS3* ассоциированы с физической работоспособностью человека, так как их продукты регулируют деятельность сердечно-сосудистой системы при физических нагрузках. В статье представлены результаты комплексного анализа полиморфизмов генов *BDKRB2* и *NOS3* у белорусских конькобежцев. Изучено распределение комбинаций +9/-9-полиморфизма гена *BDKRB2* и *a/b*-полиморфизма гена *NOS3* у конькобежцев в зависимости от спортивной квалификации и специализации, а также выявлены ассоциации данных комбинаций генотипов с показателями физической работоспособности конькобежцев. Определены наиболее благоприятные комбинации изучаемых генотипов для конькобежцев различных специализаций: -9/-9-*bb* и -9/-9-*ab* для конькобежцев, специализирующихся на дистанциях 5000 и 10000 метров, а также комбинации +9/+9-*bb* и +9/-9-*bb* для спринтеров (500–1000 метров) и многоборцев.

Ключевые слова: полиморфизм генов, конькобежцы, физическая работоспособность, механизмы энергообеспечения.

THE COMPLEX ANALYSIS OF POLYMORPHISM OF GENES *BDKRB2* AND *NOS3* AT THE BELARUS SKATERS

Anna ILYUTSIK^{1,2}, Irina RUBCHENYA¹,
Irina GILEP¹, Vasily SINELIOV³

¹ *Belarusian State University of Physical Culture*

² *Belarusian Scientific Research Institute
of Physical Culture and Sport*

³ *Institute of Bioorganic Chemistry,
Belarusian National Academy of Sciences,
Minsk, Belarus*

Abstract. Optimal conditions for development of skating sports are created in Republic of Belarus and we search the ways to increase the training efficiency of skaters. The research directed on studying of genetic predisposition of skaters to development of physical qualities is actual. Purpose: studying of distribution of combinations of polymorphic variants of genes *BDKRB2* and *NOS3* at the Belarus skaters depending on qualification and specialization and association of the given combinations of genotypes with parameters of working capacity of skaters. Methods: the genetic analysis, medical and biologic methods, veloergometric testing, methods of mathematical statistics. Skaters of various qualification aged 13–33 years old and 136 person of the control group who are not engaged in professional sports took part in research. Genes *BDKRB2* and *NOS3* are associated with working capacity of the person as their products maintain activity of cardiovascular system at physical loadings. The article contains the results of the complex analysis of polymorphic variants of genes *BDKRB2* and *NOS3* at the Belarus skaters. Distribution of combinations +9/-9-polymorphism of gene *BDKRB2* and *ab*-polymorphism of gene *NOS3* at skaters has been investigated depending on sports qualification and specialization. Associations of the given combinations of genotypes with parameters of physical serviceability of skaters were revealed. Optimal combinations of investigated

genotypes for skaters of various specializations were determined: -9/-9-*bb* and -9/-9-*ab* for stayers (distances of 5000–10000 meters), and a combination +9/+9-*bb* and +9/-9-*bb* for sprinters (500–1000 meters) and multiathlons.

Key words: polymorphism of genes, skaters, capacity for physical work, mechanisms of power supply.

References

1. Rogozkin V.A. Geneticheskaja predispozitsionnost cheloveka k vypolneniju fizicheskikh nagruzok [Genetic predisposition of the person to performance of physical loadings] // Geneticheskie, psihofizicheskie i pedagogicheskie tehnologii podgotovki sportsmenov [Genetic, psychophysical and training pedagogical technologies of athletes] : sb. nauch. tr. – SPb. : SPBNiIFK, 2006. – S. 21–33. (Rus.)
2. Ahmetov I.I. Molekulyarnaja genetika sporta [Molecular genetics of sports]. – M. : Sovetskiy sport, 2009. – 268 s. (Rus.)
3. Sinelev V.A. [i dr.] Polimorfizm genov *BDKRB2*, *NOS3*, *AGT*, *ACE* i *AGTR1* i fizicheskaja rabotosposobnost cheloveka [Polymorphism of genes *BDKRB2*, *NOS3*, *AGT*, *ACE* and *AGTR1* and physical serviceability of the person] // Doklady Nacionalnoy Akademii Nauk [Reports of the National Academy of Sciences]. – Mn. : Belaruskaja navuka, 2010. – T. 54. – №3. – S. 77–83. (Rus.)
4. Bouchard C. [et al.] The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: The 2006-2007 Update // Med. Sci. Sports and Exercise. – 2009. – V.41. – P. 35–73.
5. Brull D. [et al.] Bradykinin B2BKR receptor polymorphism and left-ventricular growth response // Lancet. – 2001. – Vol. 358 – P. 1155–1156.
6. Williams A.G. [et al.] Bradykinin receptor gene variant and human physical performance // J. Appl. Physiol. – 2004. – V. 96. – P. 938-942.
7. Nathan C., Xie Q. Nitric oxide syntetases: roles, tolls and controls // Cell. – 1994. – Vol. 79. – P. 915–918.
8. Wang Y. [et all.] Nitric oxide synthases: biochemichal and molecular regulation // Curr Opin Nephrol Hypertens. – 1995. – Vol. 4. – P. 12–22.

Стаття надійшла до редколегії 15.05.2013